

С.Ф.Викулов, доктор экономических наук, профессор
Н.В.Фиров, доктор экономических наук, профессор

Постановка задачи обоснования рациональной степени радикальности инноваций при разработке образцов вооружения и военной техники

Рассмотрены постановки задачи обоснования степени радикальности инноваций, реализация которой при создании образцов вооружения и военной техники обеспечит рациональное использование ресурсов, выделяемых на техническое оснащение ВС РФ. Приведенные постановки задачи могут быть положены в основу формализации идентичных задач в гражданском секторе экономики, а их решение позволит выявить отдельные важные закономерности инновационных процессов.

Уровень развития науки, широкомасштабное и эффективное использование ее достижений является определяющим фактором экономического роста и устойчивого развития государства, обеспечения его национальной безопасности, повышения уровня благосостояния населения. Высокая практическая значимость инновационного развития для общества явилась причиной активных исследований как в нашей стране, так и за рубежом по различным аспектам данной проблематики, формирования множества концепций и положений, ставших элементами теории инноваций.

Среди вопросов, пока не нашедших достойного отражения в теории инноваций, но имеющих важнейшее значение в решении проблемы ограниченности ресурсов и их эффективной аллокации, следует отметить вопросы, связанные с обоснованием рациональной степени радикальности инноваций, которые по указанному классификационному признаку условно подразделяются на базисные, улучшающие и псевдоинновации.

Рассмотрим один из подходов к обоснованию рациональной степени радикальности инновационных решений при создании образцов вооружения и военной техники (ВВТ), где указанная проблема наиболее актуальна в связи со значительными ресурсами, выделяемыми на техническое оснащение ВС РФ.

Представляется, что решение указанной задачи должно быть связано с вопросами обоснования требований к образцам вооружения и военной техники.

Существующая на практике система обоснования требований к образцам ВВТ является многоаспектной по своему характеру, учитывает широкий комплекс проблем (технических, экономических, политических, экологических, военных и т.п.), объединяет значительное количество видов исследований и соответствующие научно-технические и конструкторские проработки.

При обосновании требований к ВВТ исследование свойств на уровне отдельных основных подсистем и элементов проводится на основе военно-экономического анализа, проектной эффективности, исследования операций и других направлений, определяющих методологию исследования ВВТ в рамках общих и специальных дисциплин. Научно-исследовательская база этих дисциплин позволяет на основе исследования свойств соответствующих объектов и процессов, протекающих в них на различных стадиях жизненного цикла, разрабатывать тактико-технические требования к системам и их элементам, вести их проектирование. Практическое решение проблемы обоснования требований к ВВТ осуществляется обычно на основе

комплекса моделей и методик, объединенных, по возможности, соответствующими методологическими принципами и организационными мероприятиями в единую систему.

Высокая роль рассматриваемого этапа в процессе создания образцов ВВТ обусловила постоянное совершенствование методического обеспечения процесса обоснования требований как по отдельным направлениям, так и с общесистемных позиций и привлечения к этим исследованиям значительного числа организаций. В целом процесс обоснования требований и планирования развития ВВТ характеризуется широким спектром исследуемых вопросов, глубиной их проработки, высокой степенью совершенства основополагающих (общесистемных) принципов, положений и методологии проведения исследований.

Вместе с тем следует отметить, что проблема обеспечения рационального использования ресурсов при обосновании требований к ВВТ практически не решена. Необходимо признать, что учет экономических аспектов был и остается в определенном смысле условным, а достаточно стабильное экономическое состояние страны в сочетании с жестким централизованным управлением народным хозяйством до недавнего времени обеспечивали устойчивое развитие ВВТ, смягчая существование самой проблемы.

Одна из основных причин, оказавшая решающее значение на отставание теоретических основ обеспечения рационального использования ресурсов, состоит в недостаточной полной реализации в процессе обоснования требований к ВВТ основных принципов системного анализа, предусматривающего исследование отдельных свойств и характеристик изделий, процессов их создания, производства и эксплуатации не как изолированных элементов, а в непосредственной связи с перспективой развития изделий рассматриваемого вида.

При этом в общем случае под развитием будем понимать процесс последовательного перехода образца ВВТ данного вида из одного состояния в другое. Направления развития

ВВТ отличаются реализуемыми в них степенью отличия образцов от прототипов (степенью модернизации). Применительно к развитию ВВТ сущность принимаемых решений состоит в установлении рациональной последовательности состояний образца данного вида, характеризуемых совокупностью тактико-технических характеристик. В практическом аспекте задача состоит в том, насколько разрабатываемый образец по своим тактико-техническим характеристикам должен отличаться от своего прототипа: на 1% на 2%, ... на 10% или на какую-либо другую величину, чтобы его разработка, производство и эксплуатация были экономически целесообразны.

Одним из наиболее информативных показателей, характеризующих процесс развития изделий, является степень их совершенствования (отличия) от предшествующих образцов (прототипов), или в современных терминах – степень радикальности реализованных в образцах инновационных решений. Указанная величина может быть выражена в виде обобщенной степени преемственности изделия по отношению к прототипу (\bar{P}) или в виде интегрального показателя относительного изменения характеристик ($\overline{\Delta P}$):

$$\bar{P} = \{\bar{p}_j\}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$\overline{\Delta P} = \{\overline{\Delta p}_j\}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где \bar{p}_j – степень преемственности изделий по отношению к прототипу по j -й характеристике;

$\overline{\Delta p}_j$ – относительное отклонение j -й характеристики изделия от соответствующей характеристики изделия прототипа.

Показатели \bar{p}_j и $\overline{\Delta p}_j$ определяются по следующим зависимостям:

а) когда характеристику следует максимизировать, т.е. большее значение характеристики соответствует более качественному (лучшему) образцу:

$$\bar{p}_j = \frac{p_j}{p_j^*}, \quad \overline{\Delta p}_j = \frac{p_j^* - p_j}{p_j^*}; \quad (3)$$

б) когда характеристику необходимо минимизировать, – более качественный (совершенный) образец имеет меньшее значение параметра:

$$\bar{p}_j = \frac{p_j^*}{p_j}, \quad \Delta \bar{p}_j = \frac{p_j - p_j^*}{p_j}, \quad (4)$$

где p_j, p_j^* – значения j -й характеристики рассматриваемого изделия и его прототипа, соответственно.

Степень преимущества изделия по j -й характеристике и величина ее относительного изменения связаны между собой соотношением:

$$\Delta \bar{p}_j = 1 - \bar{p}_j. \quad (5)$$

Результаты исследований процессов развития различных отраслей науки, техники, общественной жизни и других сфер деятельности показывают, что изменение во времени параметров различных систем подчиняется, как правило, экспоненциальному закону. Для большинства случаев характерно плавное количественное, эволюционное изменение пара-

метра во времени до определенного предела. Вначале эти изменения идут быстро, затем изменения характеристик во времени замедляются и начинаются поиски путей качественных изменений системы. Дальнейший процесс сопровождается скачкообразным ростом или уменьшением параметра системы путем качественного революционного изменения.

Эволюционная часть процесса развития, представленная на рисунке 1, может быть описана зависимостью вида:

$$p_j^{(t)} = p_j^{np} - \alpha_j e^{-\beta_j t}, \quad (6)$$

где $p_j^{(t)}$ – значение j -ой характеристики в момент времени t ;

p_j^{np} – предельное значение j -ой характеристики для изделий рассматриваемого вида, построенных по единой принципиальной схеме и принципам действия;

α_j, β_j – коэффициенты, отражающие темп изменения j -ой характеристики во времени.

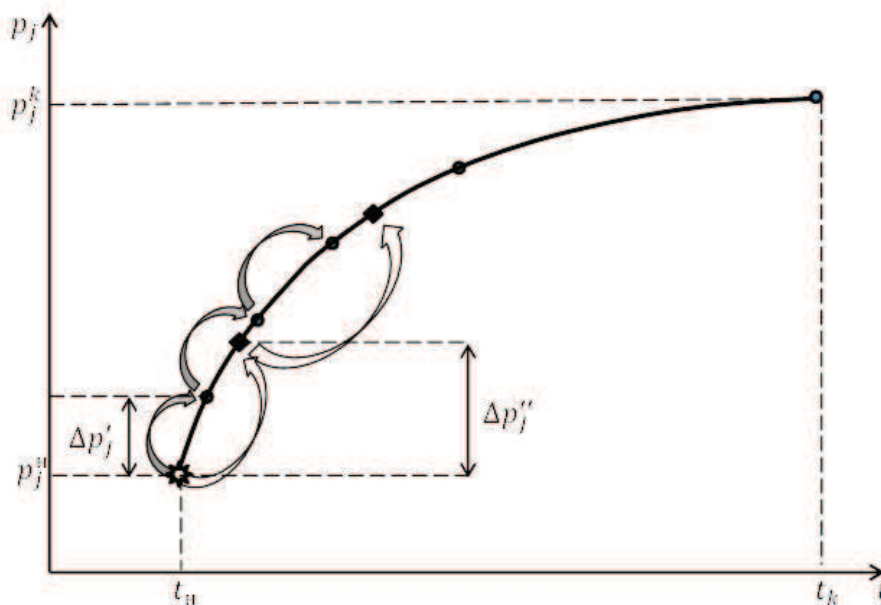


Рисунок 1 – Характер процесса развития изделий во времени

На рисунке приняты следующие обозначения:

\star – исходное изделие рассматриваемого вида, характеризующееся совокупностью параметров $P^H = \{p_j^H\}, j = \overline{1, n}$;

$\bullet \blacklozenge$ – условные обозначения возможных вариантов создания изделий. Стрелками условно обозначена последовательность создания изделий;

t_n, t_k – начальный и конечный момент времени;

p_j^H, p_j^k – значение j -й характеристики исходного изделия и достижимое значение j -й характеристики к концу рассматриваемого промежутка времени.

На рисунке 1 показано, что в процессе развития изделий от некоторой начальной характеристики p_j^H до характеристики p_j^k при реализации степеней отличия изделий от своих прототипов $\Delta p_j'$ и $\Delta p_j''$ будет разработано разное количество типов изделий. Не считая базового изделия, при реализации указанных степеней отличия изделий от своих прототипов будет разработано, соответственно, n' и n'' типов изделий. Тогда

$$n' = \frac{p_j^k - p_j^H}{\Delta p_j'}, \quad (7)$$

где n' округляется до целого в сторону увеличения. Величина n'' определяется аналогично.

Таким образом, реализуемая при разработке степень совершенствования изделий оказывает непосредственное влияние на их номенклатуру. Чем выше степень совершенствования (модернизации) изделий (чем больше показатель $\overline{\Delta p_j}$ или чем меньше показатель $\overline{p_j}$), тем меньше типоразмеров будет разработано в процессе эволюционного развития вида изделий от некоторых начальных до рассматриваемых перспективных характеристик. И, наоборот, с уменьшением указанной величины номенклатура разрабатываемых и эксплуатируемых изделий возрастает.

Изменение номенклатуры изделий естественно повлияет и на суммарные затраты на создание изделий ряда.

Проведем качественный сравнительный анализ затрат на варианты развития изделий, отличающиеся разными темпами их смены на перспективные образцы, и определим основные факторы, влияющие на стоимость разработки и изготовления изделий ряда.

Затраты на разработку изделий, удельные затраты на их производство и эксплуатацию зависят, прежде всего, от эксплуата-

ционно-технических характеристик изделий. И эта зависимость, несомненно, прямая. Следует также полагать, что затраты на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по созданию изделий с заданными характеристиками (показателями качества) при обеспечении более интенсивной смены будут снижены вследствие меньших затрат на содержание кооперации, обусловленных более коротким сроком их разработки. Кроме того, использование в качестве прототипов образцов с более близкими характеристиками позволит повысить уровень унификации создаваемых на их базе изделий, что также снизит затраты на проектирование, изготовление опытных образцов и их экспериментальную отработку.

С другой стороны, также очевидно, что, несмотря на снижение стоимости разработки каждого отдельно взятого образца, суммарная стоимость разработки изделий всей номенклатуры перспективного ряда по мере снижения степени совершенствования изделий возрастает вследствие разработки большого количества их типоразмеров.

Зависимость суммарных затрат на производство изделий от реализуемой степени их совершенствования имеет более сложный и неоднозначный характер. По мере роста степени совершенствования изделий вначале эффект масштаба превышает дополнительные затраты, обусловленные ростом требуемого количества изделий, вызванного снижением уровня их соответствия современным требованиям. В дальнейшем соотношение указанных факторов изменяется в пользу последнего и снижение затрат на производство изделий, обусловленное эффектом масштаба, не может компенсировать затраты на производство дополнительного количества изделий вследствие их технического несовершенства. Использование известных проектно-конструкторских решений способствует смещению оптимума в область меньших значений степеней совершенствования изделий, т.е. унификация обеспечивает экономическую

целесообразность реализации на практике более интенсивной смены изделий на перспективные образцы.

Таким образом, развитие изделий в течение рассматриваемого промежутка времени может быть обеспечено различными путями. Эти варианты в общем случае неравнозначны с точки зрения требуемых затрат. А если это так, то возникает важная научно-практическая задача обеспечения такой степени совершенствования изделий по отношению к прототипам, которая потребовала бы минимальных суммарных затрат. Назовем указанную задачу **задачей обоснования рациональных направлений развития изделий**.

Остановимся более подробно на математической постановке указанной задачи. При этом следует отметить, что в процессе постановки задачи и ее конкретизации будет принят ряд допущений. Принятые допущения и исходные положения способствуют упрощению процесса формализации задачи и пониманию ее сути, но не затрагивают общих закономерностей развития изделий и не влияют, как будет показано ниже, на принципиальные положения и рекомендации по обеспечению рациональных направлений их развития.

Пусть M_r – количество целей (объем работ, задач) r -го вида, для поражения (выполнения) которых предназначены рассматриваемые изделия. Указанные задачи характеризуются некоторым набором параметров:

$$B_r = \{b_{j_r}\}, \quad r = \overline{1, R}, \quad j_r = \overline{1, J_r}. \quad (8)$$

В результате постоянно ведущихся научно-исследовательских и экспериментальных работ по совершенствованию изделий происходит рост научно-технического потенциала предприятий-разработчиков, совершенствование экспериментальной базы, технологий и т.п., обеспечивающих возможность создания изделий с более высокими параметрами. По истечении некоторого времени t после ввода в эксплуатацию базового исходного образца возможны различные варианты.

Во-первых, вместо образцов, отслуживших свой срок, может быть изготовлена и поставлена в войска (на боевое дежурство) еще одна партия аналогичных образцов. Во-вторых, к этому времени можно разработать новый образец с более высокими технико-эксплуатационными характеристиками, изготовить и поставить их в войска. В дальнейшем по истечении очередного промежутка времени возникает возможность применения еще более совершенных изделий.

Предположим, что в течение рассматриваемого промежутка времени T через определенный интервал на основе использования постоянно растущего научно-технического потенциала может быть разработан ряд изделий. Каждое из изделий характеризуется множеством показателей. Однако, в целях удобства нет необходимости рассматриваемые изделия описывать совокупностью значений этих показателей. Можно по аналогии с известными в практике приемами [1] все типы изделий от 1 до m пронумеровать в хронологическом порядке и считать номер изделия его единственным параметром.

Итак, через $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, m\}$ обозначим множество возможных типов изделий. Это изделия, так называемого исходного ряда, построенного из условия реализации в изделиях ряда достижимых на данный момент времени технических характеристик. Пусть на множестве I задана функция спроса, отражающая количественную оценку объема работ (задач), поставленную в соответствие показателю i . Функции спроса определяются видом ВВТ, их местом в системе вооружения и по существу отражает количество изделий i -го вида ($i = \overline{1, m}$), необходимое для решения совокупности задач.

Введенное определение функции спроса по существу аналогично понятию функции спроса, принятому в экономической теории, как количественной зависимости между величиной спроса и определяющими его факторами (детерминантами). Отличие состоит в том, что основным детерминантом в послед-

нем случае выступает цена, в нашем случае – совокупность показателей качества (характеристик) изделия. Связь между величиной спроса и значением основного фактора в обоих случаях обратная.

Таким образом:

$$Q_i = f(P_i, B_r, M_r, U_r), \quad r = \overline{1, R}, \quad (9)$$

где Q_i – величина спроса в i -х изделиях;

P_i – вектор характеристик i -го изделия;

B_r – вектор характеристик r -й цели;

M_r – количество целей r -го вида;

U_r – условия боевого применения изделий по r -ой цели.

Введем также следующие обозначения:

C_i^{OKP} – затраты на разработку i -го изделия;

C_i^n – затраты на производство одного изделия i -го типа;

$C_i^э$ – затраты на эксплуатацию изделия i -го типа в течение рассматриваемого промежутка времени.

Анализ литературных источников в области экономики, статистических данных, механизма влияния на затраты степени совершенствования изделий (величин $\{\overline{p_{ji}}\}$ либо $\{\Delta p_{ji}\}$) показал, что при определении затрат на ОКР в обеспечение обоснования рациональных направлений развития изделий должны учитываться следующие факторы:

- основные характеристики изделий;
- уровень унификации изделий;
- продолжительность ОКР.

А при определении затрат на производство изделий:

- основные характеристики изделий;
- уровень унификации изделий;
- объем (серийность) выпуска изделий.

Таким образом, затраты на разработку, производство и эксплуатацию i -го изделия ряда могут быть выражены в виде следующих функций:

$$C_i^{OKP} = f_p(\{p_{ji}\}, K_{np_i}, t_i^p), \quad (10)$$

$$C_i^n = f_n(\{p_{ji}\}, K_{np_i}, Q_i), \quad (11)$$

$$C_i^э = f_э(\{p_{ji}\}, K_{np_i}, Q_i), \quad (12)$$

где $P_i = \{p_{ji}\}$ – совокупность j -ых характеристик i -го изделия (вектор характеристик i -го изделия, $j = \overline{1, n}$);

K_{np_i} – коэффициент применяемости, характеризующий уровень унификации i -го изделия;

t_i^p – продолжительность ОКР по разработке i -го изделия;

Q_i – объем производства i -го изделия.

В действительности стоимостные показатели ВВТ зависят еще от ряда факторов (условия производства, технологичность образца и т.д.). Указанные факторы при обосновании рациональных направлений развития принимаются постоянными и не учитываются.

Любое из альтернативных направлений развития изделий в соответствии с принятыми обозначениями и введенными понятиями в полном объеме можно характеризовать набором v типов изделий, выбранных из списка I. Функция суммарных затрат на удовлетворение заданного спроса типоразмерами из ряда v запишется следующим образом:

$$S_v = \sum_{k \in v} \left\{ C_k^{OKP} + [C_k^n + C_k^э] \cdot Q_k \right\}, \quad (13)$$

где $Q_k = \sum_{i=1}^m Q_{ki} \cdot Z_{ki}$.

$$Z_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{если } k\text{-е изделие применяется для} \\ & \text{удовлетворения потребности} \\ & \text{в } i\text{-м изделии исходного ряда;} \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Q_{ki} – потребность в k -х изделиях при их использовании вместо i -х изделий исходного ряда.

При этом переменные величины Z_{ki} связаны между собой соотношением:

$$\sum_{k \in v} Z_{ki} = 1, \forall i; \quad Z_{ki} = 0, \text{ если } k > i, \quad (14)$$

означающим, что спрос в i -х изделиях должен быть удовлетворен, а изделия, разработанные в более поздние сроки, не могут быть применены для выполнения задач, решение которых возлагалось на ранее созданные образцы.

Под рациональным направлением развития изделий будем понимать такую последовательность совокупности изделий, при которой функция суммарных затрат достигает минимума и выполняются требуемые ограничения.

$$\begin{cases} S = \min \sum_{k \in V} \left\{ C_k^{okp} \left(\{p_{jk}\}, K_{np_k}, t_k^p \right) + \left[C_k^n \left(\{p_{jk}\}, K_{np_k}, Q_k \right) + C_k^z \left(\{p_{jk}\}, K_{np_k}, Q_k \right) \right] \cdot Q_k \left(\{P_{ik}\}, B_r, M_r, U \right); \\ Q_k = \sum_{i=1}^M Q_{ki} \cdot Z_{ki}. \end{cases}$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_{k \in V} Z_{ki} &= 1, \forall i; Z_{ki} \in \{0, 1\}; \\ Z_{ki} &= 0, \text{ при } k > i; j \in J; i \in I; r = \overline{1, R} \end{aligned} \quad (15)$$

В задаче (15) показатель степени совершенствования изделий в процессе их развития в явном виде не присутствует. Однако, все переменные, входящие в основное уравнение, являются функцией степени совершенствования изделий.

В соответствии с (3), (4) вектор характеристик i -го изделия можно определить на основе характеристик его прототипа и реализуемой степени совершенствования изделия. Кроме того, учитывая, что исследуемая последовательность изделий разрабатывается на основе некоторого базового изделия (первого из исследуемой последовательности), правомочно принять:

$$P_k = f(P^*, \overline{\Delta P}_k). \quad (16)$$

Другой фактор, влияющий на целевую функцию – уровень унификации изделий, тоже определяется степенью совершенствования изделий.

Наконец, последний фактор: продолжительность ОКР, также зависит от реализуемой степени совершенствования изделий. Естественно, чем большую степень совершенствования изделий требуется достичь, тем при

$$S = \min \sum_{k \in V} \left\{ C_k^{okp} \left(P^*, \overline{\Delta P}_k \right) + \left[C_k^n \left(P^*, \overline{\Delta P}_k \right) + C_k^z \left(P^*, \overline{\Delta P}_k \right) \right] Q_k \right\}, \quad (20)$$

$$Q_k = \sum_{i=1}^m Q_{ki} \cdot Z_{ki}, \quad \sum_{k \in V} Z_{ki} = 1, \quad Z_{ki} \in \{0, 1\}, \quad \overline{\Delta P}_k = \left[\overline{\Delta p}_{jk} \right], \quad Z_{ki} = 0 \text{ при } k > i, \quad i \in I, j \in J.$$

Таким образом, в принятых обозначениях задача выбора рациональных направлений развития изделий может быть представлена в следующем виде:

прочих равных условиях больше времени потребуется на поиск научных, технических и технологических решений, обеспечивающих более высокий уровень разработки, и наоборот. Следует также отметить, что сроки разработки изделий зависят и от уровня их унификации, являющегося, как было сказано выше, функцией степени совершенствования изделий.

Таким образом, стоимость разработки изделий ряда в итоге может быть представлена в виде следующей функции:

$$C_k^{okp} = f_{okp} \left(P^*, \overline{\Delta P}_k \right). \quad (17)$$

Изложенное справедливо и в отношении затрат на производство изделий в части таких факторов, как основные характеристики изделий и уровень их унификации. Что касается объема выпуска k -го изделия, то при известной функции спроса он однозначно определяется принятой последовательностью разработки изделий, поставленной в строгое соответствие реализуемой степени их совершенствования.

Учитывая изложенное, можно записать:

$$C_k^n = f_n \left(P^*, \overline{\Delta P}_k \right). \quad (18)$$

Аналогично (17) и (18) можно определить и затраты на эксплуатацию изделий:

$$C_k^z = f_z \left(P^*, \overline{\Delta P}_k \right). \quad (19)$$

С учетом (17), (18), (19) исходную систему уравнений (15) можно представить в виде:

Согласно (20), учитывая, что Q_k при заданной "функции спроса" зависит от реализуемого варианта ряда изделий, можно утверждать, что *затраты на разработку, производство и эксплуатацию изделий ряда фактически определяются одним параметром – степенью совершенствования изделий*. Именно поэтому в обеспечение эффективного развития изделий необходимо обосновать и по возможности реализовать на практике оптимальную степень их отличия от прототипов.

В результате решения задачи (20) можно определить наилучшие показатели степени совершенствования изделий, обеспечение которых в процессе разработки потребует наименьших затрат на реализацию ряда изделий.

Для обеспечения разработки эффективных алгоритмов решения указанных задач и разработки практических рекомендаций по реализации рациональных направлений совершенствования тех или иных видов ВВТ необходимо конкретизировать и исследовать представленные выше функции (17), (18), (19).

В случае необходимости, используя зависимость (6), можно установить временную последовательность разработки ВВТ. Однако, при этом следует отметить, что прогнозирование темпов развития ВВТ связано, как правило, со значительными трудностями, а допущенные при этом ошибки, естественно, отразятся на объективности и практической значимости полученных рекомендаций. Несмотря на это, задача оптимизации требуемой степени совершенствования систем, построенная на использовании в качестве исходных данных зависимости вида (6), интересна, по крайней мере, по трем причинам.

Во-первых, ее можно использовать для решения практических задач применительно к системам, по которым имеется достаточно хороший прогноз траектории развития.

Во-вторых, именно такая модель, наиболее точно отражающая тенденции в развитии техники, является наиболее корректной в по-

становочном плане и вследствие этого может служить основой для разного рода утверждений, касающихся задачи выбора рациональных направлений совершенствования изделий.

В третьих, полученные решения могут служить основой для обоснования нижней границы допустимых степеней совершенствования изделий при неизвестных коэффициентах α_j и β_j .

При этом могут использоваться упрощенные линейные зависимости изменения основных характеристик систем во времени.

Несмотря на несомненные достоинства постановки задачи обоснования рациональных направлений развития ВВТ (20), она не охватывает всего комплекса возникающих на практике задач, существенное разнообразие которых обусловлено особенностями образцов ВВТ, их взаимосвязью, наличием неопределенности отдельных компонент, учитываемых при исследовании основных направлений развития изделий и рядом других факторов. В связи с этим представляется целесообразным сформулировать другие возможные постановки задачи.

Для обоснования рациональных направлений развития изделий могут с успехом использоваться не оптимизационные задачи, в которых в качестве целевой функции в общем случае могут применяться не только стоимостные показатели. Для таких задач область допустимых степеней совершенствования изделий должна определяться, исходя из степени их влияния на целевую функцию.

Значения показателей степени совершенствования изделий следует считать приемлемыми, если их реализация обеспечит позитивное изменение целевой функции (приближение целевой функции к экстремальному значению).

Для случая, когда лучшему решению соответствует меньшее значение целевой функции, задача может быть сформулирована в следующем виде:

$$\begin{aligned} \bar{P} &= \left\{ \bar{P} \vee f_u(P^*, \bar{P}, M_r, B_r, U_r) \leq f_u(P^*, M_r, B_r, U_r) \right\}, \\ \bar{P} &= \{ \bar{P}_j \}, \quad j = \overline{1, n}, \quad r \in R, \end{aligned} \quad (21)$$

где f_u – целевая функция.

Общая постановка задачи (21) может быть трансформирована в зависимости от вида целевой функции, рассматриваемых систем, характера условий их применения.

Предполагаемые условия применения ВВТ разнообразны, что обуславливает и определенное множество возможных решений задачи по обоснованию допустимой величины их совершенствования.

$$\begin{aligned} \bar{P} &= \left\{ \bar{P} \vee f_u(P^*, \bar{P}, M_r, B_r, U_{lr}) \leq f_u(P^*, M_r, B_r, U_{lr}) \right\}, \\ \bar{P} &= \{ \bar{P}_j \}, \quad j = \overline{1, n}, \quad l = \overline{1, L}, \quad r = \overline{1, R}, \end{aligned} \quad (22)$$

где U_{lr} – вектор, характеризующий l вид (условие) боевого применения изделия по r -й цели.

Анализируя задачу (22), следует отметить, что в случае широкого диапазона изменения характеристик из множества U реализация результатов ее решения может привести к значительным затратам. В таких ситуациях более приемлемой и практичной является задача, в которую вводится стохастическое ограничение на вероятность того, что искомое решение приведет к позитивному изменению целевой функции.

В этом случае задача поиска допустимой степени совершенствования изделий может быть представлена в следующем виде.

Определить

$$\bar{P} = \{ \bar{p}_j \}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (23)$$

при которых

$$\begin{aligned} \text{Вер} \left[f_u(P^*, \bar{P}, M_r, B_r, U_{lr}) \leq (P^*, M_r, B_r, U_{lr}) \right] &\geq H, \\ \bar{P} &= \{ \bar{P}_j \}, \quad j = \overline{1, n}, \quad l = \overline{1, L}, \quad r = \overline{1, R}. \end{aligned}$$

В задаче (23) введенное ограничение означает, что основное условие должно выполняться с вероятностью не меньше, чем H .

При решении вопросов рационального развития изделий и ограничения их номенклатуры, когда на рассматриваемую обобщенную характеристику влияют несколько со-

В такой ситуации, когда возможны различные варианты (условия) боевого применения изделий, практический интерес, учитывая принцип гарантированного результата, будут представлять только те варианты из всей совокупности возможных решений, которые являются устойчивыми и гарантируют выполнение основного условия в (21) при всех возможных условиях боевого применения изделий и характеристиках цели. Поиск таких решений несколько видоизменяет задачу (21), которая сводится к следующему:

ставных частей, возникает задача распределения требуемой степени совершенствования изделия по указанным составным частям. Задача распределения требуемой степени совершенствования возникает и в том случае, когда значения указанных характеристик определены по результатам решения задачи более высокого уровня и заданы в программах развития вооружений или в требованиях на разработку ВВТ.

Первым шагом на пути решения поставленной задачи является анализ функциональной схемы системы и установление взаимосвязи основных характеристик системы и ее элементов. Конечная цель данного этапа исследования – построение зависимости:

$$\begin{aligned} P &= f(p_{dj}), \quad d = \overline{1, D}, \quad j = \overline{1, n_d}, \\ \Delta P &= \{ \Delta p_{dj} \}, \quad d = \overline{1, D}, \quad j = \overline{1, n_d}, \end{aligned} \quad (24)$$

где p_{dj} – значение j -й характеристики d -й составной части.

Обеспечение требуемых характеристик изделий, т.е. равенство

$$P^{mp} = f(p_{dj}^*, \Delta p_{dj}), \quad (25)$$

может быть выполнено при различных комбинациях уровней модернизации элементов систем, которые достигаются при различных затратах средств и времени.

В зависимости (25) p_{dj}^* , $\overline{\Delta p_{dj}}$ – значение j -й характеристики прототипа d -й составной части и относительное изменение этой характеристики разрабатываемого изделия, соответственно.

Задача распределения состоит в том, чтобы выбрать такую комбинацию упомянутых степеней совершенствования элементов систем, при которых $P \in P^{mp}$ и достигается минимум экономических затрат на обеспечение требуемой степени модернизации систем. В общем случае указанная функция должна содержать соответствующие затраты на ста-

$$S = \min_{\overline{\Delta P} \in \overline{\Delta P}_{mp}} \left\{ K^{okp} \cdot C_d^{okp} \left(\left\{ p_{dj}^* \right\}, \left\{ \overline{\Delta p_{dj}} \right\} \right) + \left[K^n \cdot C_d^n \left(\left\{ p_{dj}^* \right\}, \left\{ \overline{\Delta p_{dj}} \right\}, Q_d \right) + C_d^z \left(\left\{ p_{dj}^* \right\}, \left\{ \overline{\Delta p_{dj}} \right\} \right) \right] \cdot Q_d \right\}, \quad (26)$$

где K^{okp} , K^n – коэффициенты, учитывающие общесистемные затраты на разработку и производство изделий, соответственно;

p_{dj}^* , $\overline{\Delta p_{dj}}$ – значение j -й характеристики прототипа d -й составной части и относительное изменение этой характеристики разрабатываемого изделия, соответственно.

Следует отметить, что в постановках задач (20) и (26) в качестве показателя степени совершенствования изделий использовалось относительное изменение характеристик по сравнению с прототипом, т.е. показатель $\overline{\Delta p_j}$, а в постановках (21), (22) и (23) – степень преимущества изделий по отношению к прототипу по основным характеристикам, т.е. величина $\overline{p_j}$.

Указанные показатели могут быть взаимно заменены, т.е. в постановках (20) и (26) можно использовать показатель $\overline{p_j}$, а в постановках (21), (22) и (23) – показатель $\overline{\Delta p_j}$. Кроме того при необходимости приведенные постановки задач могут быть конкретизированы с учетом работ [2], [3], [4], других исследований в данной области.

Для обеспечения разработки эффективных методов и алгоритмов решения указанных задач и разработки практических рекомендаций по реализации оптимальных направлений развития ВВТ необходимо кон-

кретизировать и исследовать рекомендуемые выше целевые функции.

В задачах (20) и (26) в качестве целевой функции используются суммарные затраты на разработку, производство и эксплуатацию изделий. В число основных факторов, определяющих целевую функцию, входят основные характеристики изделий и уровень их унификации.

В настоящее время методическим вопросам оценки указанных затрат посвящено множество работ. В результате проведенных в них исследований созданы методики как общего, так и частного характера. Многие из них в той или иной мере могут быть применены при решении проблемы обеспечения рационального использования ресурсов. Вместе с тем, существующее методическое обеспечение не в полной мере отвечает основным исходным положениям создаваемой теории обеспечения рационального использования ресурсов на стадиях исследования и обоснования разработки ВВТ и требует соответствующего совершенствования.

Методики оценки затрат в интересах решения поставленных в работе задач должны быть чувствительны к степени преимущества изделий по основным характеристикам или, учитывая связь последней с унификацией, – чувствительны к показателям стандартизации и унификации.

Влияние унификации на затраты по разработке ВВТ может быть отражено через изменение номенклатуры разрабатываемых изделий и изменение объемов отработки систем более высокого уровня конструктивной сложности, в состав которых входят исследуемые элементы.

Необходимость учета влияния первого фактора не вызывает сомнений и может осуществляться на основе существующих утвержденных методик.

Второй фактор влияния унификации элементов на стоимость разработки ВВТ обычно не учитывается. Однако, как показал анализ в ряде случаев величина снижения стоимости отработки изделий вследствие применения в них известных схемных и проектно-конструкторских решений может быть существенной. Это обусловлено, с одной стороны, значительной долей затрат, связанных с испытанием опытных образцов, в суммарных затратах на разработку изделий, которая для отдельных видов ВВТ составляет 80-90% общей стоимости их разработки. С другой стороны – существенным влиянием унификации составных частей изделий на стоимость их отработки, что подтверждается, в частности, высоким коэффициентом корреляции между размером опытной партии и соотношением оригинальных и унифицированных составных частей в изделии. Согласно данным ряда работ, этот коэффициент достигает для отдельных видов изделий значений 0,7...0,8.

Вопросы влияния унификации составных частей изделий на количество испытаний, необходимое для его отработки до заданного уровня надежности, исследовались в [5] и других работах.

В [5] показано, что задача оценки влияния уровня унификации составных частей изделия ($K_{пр}$) на количество испытаний, необходимое для его отработки, может быть решена методом статистического моделирования. Однако, проведение данной оценки по этому методу – весьма сложный и трудоемкий процесс.

В ряде других работ рекомендуется использовать для отдельных видов изделий зависимости между величинами $K_{пр}$ и стоимостью, полученные на основе обработки статистического материала. Однако, для установления указанных зависимостей требуется наличие большого объема опытных данных, что не всегда обеспечивается на практике.

Отмеченные недостатки существующих методов ограничивают возможности их практического применения в интересах решения поставленных задач. Поэтому необходимы дальнейшие исследования в направлении совершенствования методов оценки влияния унификации на стоимость разработки ВВТ. Разрабатываемые методы должны быть простыми, универсальными и в то же время обеспечивать требуемую точность расчета при незначительном количестве исходных данных.

В вопросах оценки влияния унификации на стоимость изготовления ВВТ необходимо различать две группы изделий:

- унифицированное изделие, как объект производства;
- изделие, ряд составных частей которого являются унифицированными.

Оценка влияния унификации изделия в целом на стоимость его изготовления может быть проведена известным способом: через изменение объема его выпуска. При оценке влияния унификации составных частей изделия на стоимость его изготовления возникают определенные трудности. Так, применение для этой цели традиционного подхода, основанного на использовании регрессионных зависимостей, в которых стоимостные показатели определяются как функции ряда факторов, в число которых включается показатель уровня унификации изделий, практически оказывается невозможным ввиду ограниченности статистических данных. Проблематично применение и других известных методов.

Влияние унификации на стоимость эксплуатации изделий при неизменной системе эксплуатации может быть учтено через изменение сто-

имости изготовления и не требует разработки специального методического обеспечения.

Таким образом, для построения функции экономических затрат на обеспечение заданной степени совершенствования изделий необходимо провести комплекс специальных исследований по построению зависимостей, лишенных перечисленных выше недостатков.

Построение таких зависимостей может быть осуществлено двумя способами: разработкой регрессионных зависимостей на основе обработки статистических данных и аналитически на основе исследования общих закономерностей стадий и этапов жизненного цикла изделий. В целях создания работоспособных универсальных методик предпочтение необходимо отдать второму способу построения указанных зависимостей. Причем, если в части влияния на стоимостные показатели изделий их основных характеристик могут быть использованы отдельные известные, проверенные практикой методические подходы, то в части оценки влияния на указанные показатели уровня унификации изделий

должно быть создано фактически новое, оригинальное методическое обеспечение.

Система методик должна отражать сущность унификации, отличаться универсальностью в отношении рассматриваемых видов изделий и в то же время быть обеспечена исходными данными. При разработке методик оценки затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию образцов ВВТ могут использоваться результаты работ [6, 7] и других исследований.

И наконец, необходимо выбрать эффективные методы решения указанных задач, провести необходимые расчеты, проанализировать их результаты и разработать практические рекомендации по обеспечению рациональных направлений развития вооружения и военной техники.

После решения перечисленных вопросов можно провести серию расчетов по определению рациональных степеней совершенствования изделий и на основе анализа и обобщения их результатов установить некоторые закономерности развития изделий.

Список использованных источников

1. Береснев В.Л., Гимади Э.Х., Дементьев В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. Новосибирск: Наука, 1978. – 298 с.
2. Фиров Н.В. Методический подход к обоснованию распределения ассигнований, выделяемых на техническое оснащение стратегических сил сдерживания // Вооружение и экономика. – 2009. – № 2(6).
3. Фиров Н.В. Проблемы повышения эффективности использования ресурсов, направляемых на развитие вооружения и военной техники // Вооружение и экономика. – 2010. – № 3(11).
4. Фиров Н.В., Христофорова И.В., Соколов С.В. Влияние инновационного потенциала предприятия на ставку дисконтирования и вероятность успешной реализации инновационных проектов // Вопросы региональной экономики. – 2012. – № 2(11).
5. Червоный А.А., Лукьященко В.И., Котин Л.В. Надежность сложных систем. 2-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Машиностроение, 1976. – 287 с.
6. Фиров А.Н. Совершенствование методов оценки эффективности инноваций при создании перспективных образцов ВВТ // Вооружение и экономика. – 2011. – № 3(15).
7. Фиров А.Н. Разработка экономико-математических моделей в условиях ограниченной статистической информации // Вопросы региональной экономики. – 2010. – № 2.